

WO 2005/031380

PCT/EP2004/010783

Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes  
einer Batterie

5

Beschreibung:

Technisches Gebiet

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des Ladezustandes (state of charge, SOC) einer Batterie.

Unter einer Batterie soll hier ein allgemeiner elektrochemischer Generator verstanden werden, der eine oder mehrere galvanische Zellen enthält, in denen elektrische Energie anhand von chemischen Reaktionen gewonnen wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung eignen sich insbesondere zur Bestimmung des Ladezustandes von wieder aufladbaren Blei-, Nickel- Cadmium- (Ni-Cd-) und Nickel- Metallhydrid- (Ni-MH-) Batterien.

Die Erfindung betrifft ferner eine für die Durchführung des Verfahrens geeignete Vorrichtung.

25

Stand der Technik

Bekannte Methoden zur Bestimmung des Ladezustandes von Batterie beruhen auf der Bestimmung der Konzentration des Elektrolyten der Batterie durch direkte Messung von Eigenschaften des Elektrolyten. So kann u.a. die Dichte, der pH-Wert oder die Leitfähigkeit des Elektrolyten gemessen werden und daraus auf seine Konzentration geschlossen werden. Diese Verfahren sind nur bei Batterietypen anwendbar, bei denen der Elektro-

lyt tatsächlich an der Gesamtreaktion teilnimmt, wie z.B. bei Bleibatterien. Sie sind aufwändig, da sie den Zugang zum Inneren der Batterie erfordern. Schließlich sind sie nicht unter allen Bedingungen mit ausreichender Genauigkeit durchführbar, da die Elektrolytkonzentration in der Batterie nicht gleichmäßig ist. Eine Übersicht häufig benutzter Methoden zur Bestimmung des Ladezustands für verschiedene Einsatzgebiete von Batterien findet sich in der Veröffentlichung von S. Piller, M. Perrin und A. Jossen: "Methods for state-of-charge determination and their applications", Journal of Power Sources 96 (2001) 113-120.

Andere Verfahren beruhen auf elektrischen Messungen, die ausschließlich eine Kontaktierung der Batteriepole erfordern. Die genaueste Möglichkeit der Bestimmung des Ladezustands ist die vollständige Entladung der Batterie. Dabei wird üblicherweise ein Gleichstrom eingeprägt und die Zeitdauer bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung gemessen. Daraus kann die Batteriekapazität berechnet werden. Anschließend muss die Batterie wieder aufgeladen werden, bevor sie wieder eingesetzt werden kann. Da Batterien nur eine begrenzte Anzahl von vollständigen Entladungen und Wiederaufladungen überstehen, wird die Lebensdauer einer Batterie durch dieses Messverfahren reduziert. Das Verfahren ist also nicht verwendbar, wenn eine fortlaufende Überwachung der Batterie gefordert ist, insbesondere wenn Betriebsunterbrechungen zu vermeiden sind.

Weitere elektrische Messverfahren bestimmen den Innenwiderstand der Batterie. Dies kann durch eine Betrachtung des Spannungsverlaufs bei gepulste Entladungen geschehen oder durch Auswertung der Batterieimpedanz, die bei einer bestimmten Frequenz gemessen wird.

Die Veränderung des Innenwiderstands beruht im Wesentlichen auf der Änderung der Leitfähigkeit des Elektrolyten. Daher gelten für dieses Messverfahren die gleichen Einschränkungen wie bei der direkten Messung der Elektrolyteigenschaften. Die Methode ist bei alkalischen Batterien nicht anwendbar, da ihr Elektrolyt nicht an der Gesamtreaktion teilnimmt. Auch bei Bleibatterien gibt es Einschränkungen. Die Nebenreaktionen bei der Ladung der Batterie haben einen deutlichen Einfluss auf den Innenwiderstand der Batterie. Dadurch ist der Zusammenhang zwischen Innenwiderstand und SOC nicht monoton. Darüber hinaus ändert der Innenwiderstand sich nur wenig, die Empfindlichkeit des Messverfahrens ist also gering.

Ein bekanntes Verfahren zur Untersuchung von elektrochemischen Systemen wie wiederaufladbaren Batterien ist die Impedanzspektroskopie. Hierbei wird die komplexe Impedanz der Batterie bei vielen Frequenzen gemessen, also in einem kompletten Frequenzspektrum.

Eine typische Darstellungsweise der Messergebnisse ist die Ortskurve, auch bekannt als Nyquist-Diagramm. Hier wird der Imaginärteil der komplexen Impedanz über den Realteil der komplexen Impedanz aufgetragen. In Fig. 1 ist die typische Ortskurve einer handelsüblichen Batterie aufgetragen. Es ist üblich die imaginäre Achse in umgekehrter Reihenfolge aufzutragen, also positive Werte von  $Z''$  unterhalb und negative Werte von  $Z''$  oberhalb der reellen Achse.

Aus dem Impedanzspektrum einer Batterie können einzelne Parameter abgeleitet werden, die von SOC abhängen. So untersuchten F. Huet ["A review of impedance measurements for determination of the state-of-charge or state-of-health of secondary batteries", Journal of Power Sources 70 (1998) 59-69] sowie

S. Rodrigues, N. Munichandraiah und A.K. Shukla ["A review of state-of-charge indication of batteries by means of ac impedance measurements", Journal of Power Sources 87 (2000) 12-20] die veröffentlichten Daten über Impedanz-Untersuchungen an Batterien und Batterieelektroden, die zur Bestimmung des SOC vorgenommen wurden. Es zeigte sich, dass mehrere Parameter des Impedanzspektrums zur Bestimmung des SOC bei unterschiedlichen experimentellen Bedingungen nutzbar sind, sowohl unter Last wie auch unbelastet nach einer Ruhezeit.

Frühere Messungen an alkalischen Batterien [Ph. Blanchard: "Electrochemical impedance spectroscopy of small Ni-Cd sealed batteries: application to state-of-charge determinations", Journal of Applied Electrochemistry 22 (1992) 1121-1128] und an Lithium-Ionen Batterien [S. Rodrigues, N. Munichandraiah and A.K. Shukla: "AC impedance and state-of-charge analysis of a sealed lithium-ion rechargeable battery", Journal of Solid State Electrochemistry 3 (1999) 397-405], bei denen das Verhalten der Zelle bei hohen Frequenzen untersucht wurde, erbrachten keine brauchbaren Ergebnisse, da der Elektrolyt nicht an der Gesamtreaktion der Batterie teilnimmt. Stattdessen wurde ein deutlicher Einfluss des SOC auf den niederfrequenten Bereich der Ortskurve festgestellt. So ändern sich der Betrag der Impedanz, der Phasenwinkel sowie der Wert des in Reihe geschalteten und des parallel geschalteten Kondensators im elektrischen Ersatzschaltbild der Zelle. Messungen bei niedrigen Frequenzen dauern jedoch sehr lange und sind daher für die andauernde Überwachung von Zellen während der Nutzung weniger geeignet.

Für verschlossene Bleibatterien wurde der Innenwiderstand der Batterie als nützlicher Parameter zur Vorhersage des Ladezustands mittels Impedanzspektroskopie identifiziert [R.T.

Barton and P.J. Mitchell: "Estimation of the residual capacity of maintenance-free lead-acid batteries - Identification of a parameter for the prediction of state-of-charge", Journal of Power Sources 27 (1989) 287-295]. Allerdings war es  
5 dafür erforderlich, die Batterie vor der Messung einige Zeit ruhen zu lassen.

Da Messungen bei hohen Frequenzen wesentlich schneller ein Ergebnis liefern, wird dieser Frequenzbereich bevorzugt. Der  
10 einzige Parameter des Impedanzspektrums, der bei hohen Frequenzen ermittelt werden kann, allgemein bekannt ist und ausgewertet wird, ist der Innenwiderstand der Batterie.

Die deutschen Patentanmeldung DE 102 05 120 A1 beschreibt eine  
15 Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des Innenwiderstand einer Batterie. Die Batterie wird von vorhandenen hochfrequenten Stromschwankungen angeregt, und die daraus resultierende Spannungsantwort gemessen. Der Innenwiderstand der Batterie wird über eine Leistungsbetrachtung bestimmt.

20 Die deutsche Patentschrift DE 197 25 204 C1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung des SOC einer Lithium-Batterie in einer Fernsteuer-Anwendung. Das Verfahren beruht auf der gleichzeitigen Messung des Zellen-Innenwiderstands und der Spannung an den Anschlüssen der Batterie.  
25

Aus der Ortskurve der Impedanz kann sehr einfach der Innenwiderstand des Prüflings entnommen werden. Der Innenwiderstand entspricht dem Betrag der Impedanz am Schnittpunkt der  
30 Ortskurve mit der reellen Achse. Dieser Zusammenhang wird beispielsweise auch als Indikator für die elektrische Effizienz von Brennstoffzellen eingesetzt, wie in der internationalen Patentanmeldung WO 02/27342 A2 beschrieben wird.

### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes  
5 Verfahren so weiter zu entwickeln, dass eine schnelle und zuverlässige Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie ermöglicht wird und somit die aufgezeigten Nachteile des Standes der Technik überwunden werden.

10 Es ist zudem Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zu schaffen, welche zur Durchführung des Verfahrens geeignet ist, und mithin ebenfalls die genannten Vorteile eines weiterentwickelten Verfahrens aufweist.

15 Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren nach dem Patentanspruch 1 gelöst.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe zudem durch eine Vorrichtung nach dem Patentanspruch 14 gelöst.

20

Zweckmäßige Weiterbildungen des Verfahrens und der Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Es ist insbesondere vorgesehen, dass eine Durchtrittsfrequenz  
25 für eine Impedanz der durch ein Wechselstromsignal angeregten Batterie ermittelt wird, und die Durchtrittsfrequenz dem Ladezustand der Batterie zugeordnet wird. Dabei ist die Durchtrittsfrequenz die Frequenz, bei der in einem Impedanzdiagramm die Ortskurve der komplexen Impedanz der Batterie die  
30 reelle Achse schneidet, und wird nachfolgend mit  $f_+$  bezeichnet, da dort der Imaginärteil der Impedanz sein Vorzeichen ändert.

Das die Batterie anregende Wechselstromsignal wird dabei durch eine mit der Batterie verbundene Wechselstromquelle erzeugt.

- 5 Das Verfahren wird vorzugsweise dafür genutzt, den Ladezustand von in Betrieb befindlichen Batterien zu bestimmen.

Die Wechselstromquelle ist daher vorzugsweise eine in dem von der Batterie versorgten Stromnetz befindliche Last oder eine  
10 in dem Stromnetz befindliche Wechselstromquelle, die nicht notwendig regelbar ist.

Das von der Batterie versorgte Stromnetz enthält oft Lasten, welche Störsignale an das Stromnetz abgeben. Diese im Strom-  
15 netz vorhandenen Störsignale überlagern den von der Batterie gelieferten Gleichstrom mit einer Wechselstromkomponente.

Es ist besonders bevorzugt, in dem Stromnetz vorhandene mit einer gewissen Frequenz geschaltete Widerstände als Wechsel-  
20 stromquellen zu nutzen.

Zudem sind in dem die Batterie beinhaltenden Stromnetz unter Umständen zusätzliche Wechselstromquellen vorhanden, welche die Batterie anregen.  
25

Das erfindungsgemäße Verfahren kann damit als rein passives Verfahren in dem Sinne durchgeführt werden, dass keine zusätzliche, speziell und ausschließlich zur Durchführung des Verfahrens notwendige Stromquelle zur Anregung der Batterie  
30 benötigt wird.

Es ist jedoch ebenfalls vorgesehen die Batterie zur Durchführung des Verfahrens mit einer regelbaren Wechselstromquelle

zu verbinden, falls die in dem von der Batterie versorgten Stromnetz vorhandenen Wechselstromsignale in einem die Durchtrittsfrequenz beinhaltenden Frequenzbereich keine ausreichend hohen Amplituden aufweisen.

5

Zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz der Batterie werden eine über der Batterie abfallende Spannung und eine Stromstärke eines durch die Batterie fließenden Wechselstroms gemessen.

10

Die erfindungsgemäß ermittelte Durchtrittsfrequenz ist die Frequenz, bei der in einem Impedanzdiagramm die Ortskurve der komplexen Impedanz der Batterie die reelle Achse schneidet.

15 Die Erfindung macht so Gebrauch von der überraschenden Entdeckung, dass eine eindeutige Relation zwischen der Durchtrittsfrequenz und dem Ladezustand der Batterie besteht.

Die Durchtrittsfrequenz entspricht damit der Durchtrittsfrequenz eines aus der Batterie und einer Wechselstromquelle bestehenden Stromkreises.

25 Dabei sollen jedoch nur die Eigenschaften der Batterie und nicht in der Wechselstromquelle vorhandene Innenwiderstände, innere Kapazitäten oder Induktivitäten die Resonanzbedingungen bestimmen. Obwohl eine möglichst exakte Bestimmung der Durchtrittsfrequenz besonders zweckmäßig ist, können selbstverständlich auch andere Frequenzen mit vergleichbaren Eigenschaften zur Durchführung der Erfindung eingesetzt werden.

30 Die erfindungsgemäß eingesetzte Durchtrittsfrequenz bezeichnet daher nicht nur den ermittelten exakten Schnitt zwischen der Ortskurve der komplexen Impedanz der Batterie und der reellen Achse, sondern auch andere Frequenzen mit vergleich-



baren Eigenschaften, insbesondere die Resonanzfrequenz.

Dem Verfahren liegt eine eindeutige Relation zwischen der Durchtrittsfrequenz und dem Ladezustand der Batterie zugrunde.  
5

Es wird anhand der Figur 3 dargelegt werden, dass diese Relation zwischen dem Ladezustand einer Batterie und der Durchtrittsfrequenz besteht und in einem sehr weit gefassten Bereich von Betriebsbedingungen einer Batterie gültig ist.  
10

Die Durchtrittsfrequenz kann auf zweierlei Weisen charakterisiert werden:

15 Sie entspricht zum einen der Frequenz, bei der die über der Batterie abfallende Wechselspannung und die Stromstärke des durch die Batterie fließenden Wechselstroms in Phase sind. Zum anderen verschwindet für einen durch die Batterie fließenden Wechselstrom mit Frequenz  $f_{\pm}$  der Imaginärteil der komplexwertigen Impedanz.  
20

Zur Bestimmung von  $f_{\pm}$  werden die Messungen der über der Batterie abfallenden Wechselspannung und der Stromstärke des durch die Batterie fließenden Wechselstromes für verschiedene Wechselstromfrequenzen durchgeführt.  
25

Vorzugsweise wird dafür ein Frequenzbereich vorgegeben, der typischerweise auftretende Durchtrittsfrequenzen enthält. Dieser Frequenzbereich kann dann mit vorgegebenen Frequenzabständen oder kontinuierlich abgescannt werden.  
30

Es ist in einer vorteilhaften Durchführungsform vorgesehen, eine Phasendifferenz zwischen der Phase der Wechselspannung

und der Phase der Stromstärke des Wechselstroms zu bestimmen.

Die Phasendifferenz wird für jeden gescannten Frequenzwert ermittelt, um die Frequenz zu bestimmen, bei der diese Phasendifferenz verschwindet.

Diese Frequenz ist die Durchtrittsfrequenz und wird anhand der Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand einem Ladezustand zugeordnet.

Der auf diese Weise ermittelte Ladezustand kann dann einem Benutzer der Batterie angezeigt oder an ein System übertragen werden, das die Betriebszustände der Batterie überwacht.

In einer ebenfalls sehr bevorzugten Durchführungsform des Verfahrens wird die komplexwertige Impedanz der Batterie in Abhängigkeit der Wechselstromfrequenz ermittelt.

Es ist zweckmäßig hierfür eine Fourier-Transformation des Spannungssignals und des Stromstärkesignals vorzunehmen oder die Impedanz direkt zu berechnen und anschließend zu transformieren.

Vorzugsweise wird dabei eine schnelle Fourier-Transformation durchgeführt.

Aus den Resultaten der Impedanzberechnung wird dann die Frequenz ermittelt, bei welcher der Imaginärteil der Impedanz verschwindet.

Dies ist die Durchtrittsfrequenz  $f_+$  der anhand des zwischen ihr und dem Ladezustand der Batterie bestehenden Zusammen-

hangs der aktuelle Ladezustand zugeordnet werden kann.

Die Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand wird zusätzlich durch die Betriebstemperatur der Batterie und  
5 den durch die Batterie fließenden Gleichstrom beeinflusst.

In einer bevorzugten Durchführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens werden daher die Betriebstemperatur und die Stromstärke des durch die Batterie fließenden Gleichstroms erfasst  
10 und in der Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand berücksichtigt.

Zudem wird die Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand in einem geringem aber einer Messung zugänglichen  
15 Maße vom Alterungszustand der Batterie beeinflusst.

Die Genauigkeit mit welcher der Ladezustand bestimmt wird kann also dadurch weiter erhöht werden, dass der Alterungszustand der Batterie in der Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand berücksichtigt wird.  
20

Es ist somit ebenfalls möglich, den Alterungszustand der Batterie aus der Durchtrittsfrequenz zu bestimmen.

25 Ein weiterer Aspekt der Erfindung besteht darin, eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen.

Hinsichtlich dieser Vorrichtung wird die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe durch ein Vorrichtung nach dem  
30 Oberbegriff des Patentanspruchs 14 gelöst, die ein Mittel zur Bestimmung einer Durchtrittsfrequenz der durch ein Wechselstromsignal angeregten Batterie und ein Mittel zur Zuordnung

der Durchtrittsfrequenz zu dem Ladezustand der Batterie enthält.

Das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz erfasst und  
5 verarbeitet die über der Batterie abfallende Wechselspannung  
und die Stromstärke des durch die Batterie fließenden Wechselstroms.

Vorzugsweise enthält das Mittel zur Bestimmung der Durch-  
10 trittsfrequenz weitere Mittel zur Ermittlung der Phasen und  
Amplituden der Spannungs- und Stromsignale und zur Bestimmung  
der Impedanz der Batterie.

Weitere Vorteile, Besonderheiten und zweckmäßige Weiterbil-  
15 dungen der Erfindung und insbesondere der erfindungsgemäßen  
Vorrichtung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der  
nachfolgenden Darstellung bevorzugter Ausführungsbeispiele  
anhand der Abbildungen.

## 20 Beschreibung der Zeichnungen

Von den Zeichnungen zeigt:

Figur 1: Typische Ortskurve der Impedanz einer handelsübli-  
25 chen Batterie in einem mittleren Ladezustand.

Figur 2: Änderungen des Imaginärteils der Impedanz in Abhän-  
gigkeit der Frequenz.

30 Figur 3: Die Korrelation zwischen der Durchtrittsfrequenz  
und des Ladezustandes für einen 70Ah-Bleiakku-  
mulator während des Entladens bei einer Temperatur  
von  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Figur 4: Eine Veranschaulichung der Impedanzparameter als Ortskurve in der komplexen Ebene.

5      Figur 5: Ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie mit Phasen-Komparator ohne regelbare Wechselstromquelle in einer Ausführungsform.

10      Figur 6: Ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie mit Phasen-Komparator ohne regelbare Wechselstromquelle in einer anderen Ausführungsform.

15      Figur 7: Ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie mit Phasen-Komparator und regelbarer Wechselstromquelle.

20      Figur 8: Ein Blockdiagramm einer auf der Bestimmung der Impedanz basierenden Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie ohne regelbare Stromquelle.

25      Figur 9: Ein Blockdiagramm einer auf der Bestimmung der Impedanz basierenden Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie mit regelbarer Stromquelle.

30      Figur 1 zeigt ein typisches Impedanzdiagramm einer kommerziellen Batterie, das für Frequenzen zwischen 6000 und  $10^{-3}$  Hz als Ortskurve in der komplexen Ebene dargestellt ist. In dieser Darstellung wird der negative Imaginärteil der Impedanz für die betrachteten Frequenzen gegen den Realteil der

Impedanz aufgetragen. Der Imaginärteil der Impedanz ist dabei wie üblich mit  $Z''$  und der Realteil mit  $Z'$  bezeichnet.

Messwerte sind in dieser, wie auch in den folgenden Figuren  
5 durch Punkte dargestellt; die dargestellte Linie ist die Regressionskurve an diesen Messwerten.

Dem Diagramm kann ein signifikant induktives Verhalten der Batterie für Frequenzen oberhalb von 100 Hz entnommen werden.  
10 Dieses entspricht dem Bereich mit  $-Z'' < 0$ .

Es ist bekannt, dass dieses Verhalten von der Geometrie der in der Batterie enthaltenen galvanischen Zellen und der Porosität der Elektrodenplatten bestimmt wird.

15

Der Realteil des Schnittpunktes der dargestellten Kurve mit der  $Z'$ -Achse wird mit  $R_+$  bezeichnet. Er entspricht dem inneren ohmschen Widerstand der Batterie und setzt sich aus den ohmschen Widerständen des Elektrolyts, der Elektroden und der  
20 Anschlüsse der Batterie zusammen.

Wie eingangs bereits erwähnt, lässt der Wert des Parameters  $R_+$  Rückschlüsse auf den Ladezustand eines Bleiakkumulators zu, da ein während des Entladens erfolgendes Absinken der Schwefelsäurekonzentration im Elektrolyt den ohmschen Innenwiderstand verändert.

25

Das kapazitive Verhalten der Batterie bei kleineren Frequenzen (Bereich mit  $-Z'' > 0$ ) wird im Wesentlichen von den verschiedenen an den elektrochemischen Reaktionen beteiligten  
30 Prozessen bestimmt.

Inwieweit eine Untersuchung der Impedanzparameter in den einzelnen Bereichen einer Bestimmung des Ladezustandes dienen

kann und welche Nachteile mit einer Ladezustandsbestimmung anhand dieser Parameter verbunden sind, wurde eingangs dargelegt.

5 Im Rahmen der Forschungsarbeiten, die zu der Entwicklung der vorliegenden Erfindung führten, wurde die Durchtrittsfrequenz  $f_+$  von Batterien betrachtet. Diese entspricht der Frequenz bei welcher der Imaginärteil  $Z''$  der Impedanz verschwindet und stellt damit die zu dem Impedanzwert  $R_+$  gehörende Frequenz  
10 dar.

Die Abhängigkeit des Imaginärteils der Impedanz von der Frequenz einer über der Batterie abfallende Wechselspannung ist in der Figur 2 grafisch veranschaulicht.

15

Ein Vorteil der Erfindung ist, dass die Durchtrittsfrequenz  $f_+$  auf einfache Weise durch eine Interpolation der in der Figur 2 gezeigten Messkurve am Punkt mit  $-Z''=0$  bestimmt werden kann.

20

Die Durchtrittsfrequenz  $f_+$  ist, wie sich auch anhand der weiteren Beschreibung ergibt, ein einfach zugänglicher Parameter der Batterie.

25 Sie ist ferner dadurch ausgezeichnet, dass sie den Übergang vom induktiven zum kapazitiven Verhalten markiert.

Es wurde in den durchgeführten Versuchen festgestellt, dass  $f_+$  als Funktion des Ladezustandes der Batterie monoton variiert.  
30

In Figur 3 ist die Abhängigkeit der Frequenz  $f_+$  vom Ladezustand eines Bleiakkumulators dargestellt. Der Ladezustand der

Batterie wird dabei mit SOC bezeichnet und in % angegeben.  
Die Prozentwerte beziehen sich dabei auf das Verhältnis der  
in der Batterie vorhandenen Ladungsmenge zur Nennkapazität der  
Batterie. Dieses Verhältnis wird üblicherweise als Ladezu-  
5 stand der Batterie bezeichnet.

Die Nennkapazität des betrachteten Blei-Akkumulators betrug  
70 Ah und die in der Figur 3 dargestellten Ergebnisse bezie-  
hen sich auf einen Entladevorgang, der bei -18°C durchgeführt  
10 wurde.

Während der Ladezustand des Akkumulators von 100% auf 0%  
sinkt, variiert die Durchtrittsfrequenz  $f_{\pm}$  um etwa 600 Hz.

15 Für einen vollständigen Entladevorgang bei Raumtemperatur  
wurde eine Veränderung der Durchtrittsfrequenz von 3000 Hz  
gemessen.

Die Variationen von  $f_{\pm}$  in Abhängigkeit des Ladezustandes sind  
20 damit so groß, dass eine genaue Bestimmung der Ladekapazität  
vorgenommen werden kann.

Der Parameter  $f_{\pm}$  kann somit als verlässliches und präzises  
Werkzeug für die Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie  
25 dienen.

Die Korrelation zwischen  $f_{\pm}$  und dem Ladezustand einer Batte-  
rie wurde für eine Vielzahl von Batterietypen unter verschie-  
denen Betriebsbedingungen untersucht. Dabei konnten die Er-  
30 gebnisse, die hier für den speziellen Fall des Entladens eines  
Blei-Akkumulators beispielhaft veranschaulicht sind, qualita-  
tiv bestätigt werden.



Es wurden beispielsweise eingehende Untersuchungen an Ni-Cd-Batterien, Ni-MH-Batterien und an geschlossenen Blei-Gel-Batterien vorgenommen.

- 5     Dabei wurden Messungen kurz nach einem zwischenzeitlichen Ent- und Aufladen, während des Ent- und Aufladens und bei Temperaturen zwischen -18 und 50°C durchgeführt.

- 10    Alle Messungen erbrachten eine reproduzierbare Relation zwischen Durchtrittsfrequenz und Ladezustand der Batterie. Es wurde lediglich ein geringfügiger Hysterese-Effekt bei der Durchtrittsfrequenz festgestellt.

- 15    Das erfindungsgemäße Verfahren beruht darauf, dass bei der Durchtrittsfrequenz das induktive Verhalten der Batterie in ein kapazitives Verhalten übergeht und somit an der Durchtrittsfrequenz alle Eigenschaften und Prozesse der Batterie Einfluss auf die Impedanzparameter haben.

- 20    Damit kann das erfindungsgemäße Verfahren grundsätzlich zur Ladungsbestimmung bei allen Batterien genutzt werden, die ein ausreichend ausgeprägtes induktives Verhalten zeigen.

- 25    Dies beinhaltet insbesondere, dass die Ortskurve der Impedanz der Batterien in der komplexen Ebene einen Ast im Bereich negativer Werte von  $-Z''$  aufweist.

Typischerweise sind dies Batterien mit einer Nennkapazität von mindestens 1 Ah.

30

Das erfindungsgemäße Verfahren kann damit prinzipiell auch für Primärzellen durchgeführt werden.

Figur 4 zeigt eine graphische Darstellung der mit der Impedanz verknüpften Parameter in der komplexen Ebene.

Die Impedanz kann für jede Frequenz  $f$  entweder in Polarkoordinaten durch den Modul  $|\underline{Z}(f)|$  und den Phasenwinkel  $\phi(f)$  oder in kartesischen Koordinaten durch den Realteil  $Z'(f)$  und den negativen Imaginärteil  $-Z''(f)$  dargestellt werden.

Die Durchtrittsfrequenz  $f_{\pm}$  eines Reihenschwingkreises ist dadurch charakterisiert, dass der Strom durch die Batterie und die Spannung an der Batterie in Phase sind. Es gilt also  $\phi(f_{\pm})=0$ .

Aus der Figur 4 ist ersichtlich, dass es äquivalent ist, die Durchtrittsfrequenz durch die Bedingung  $Z''(f_{\pm})=0$  zu beschreiben.

Beide angegebenen Gleichungen zeigen jeweils eine Methode zur Bestimmung von  $f_{\pm}$  auf.

Im Rahmen der Erfindung wird von beiden Methoden Gebrauch gemacht.

Figur 5 zeigt ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie (40).

Die Vorrichtung ist mit einer Batterie (40) verbunden, die von Störsignalen angeregt wird, die in dem von der Batterie (40) versorgten Stromnetz vorhanden sind. Diese Störsignale sind Wechselstromsignale, welche von vorhandenen Lasten (10) oder Stromquellen (20) verursacht werden.

Die Vorrichtung beinhaltet einen Sensor (50) zum Erfassen des Wechselspannungssignals der über der Batterie (40) abfallenden Wechselspannung.

- 5 Sie beinhaltet ebenfalls einen Sensor (60) zum Erfassen der Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Wechselstroms.

10 Die Störsignale beinhalten im allgemeinen Signale verschiedener Frequenzen.

Das Spannungs- und das Stromsignal werden jeweils in einem Bandpassfilter (80,90) bearbeitet, das nur von einem harmonischen Anteil der Signale passiert werden kann, der eine Frequenz aufweist, die innerhalb eines sehr schmalen Frequenzbandes liegt.

20 Die mittlere Frequenz des Frequenzbandes kann vorzugsweise eingestellt und verändert werden, so dass der relevante Frequenzbereich abgescannt werden kann.

Die Vorrichtung verfügt ebenfalls über einen Phasenkomparator (100), der die Phasen der Anteile der Spannungs- und Stromsignale, welche die Bandpassfilter (80,90) passiert haben, ermittelt und die Phasendifferenz  $\phi(f)$  zwischen den Signalanteilen für die an den Bandpassfiltern (80,90) eingestellte Frequenz  $f$  bestimmt.

30 Der Wert dieser Phasendifferenz wird an eine Kontrolleinheit (110) übermittelt, welche die mittlere Durchlassfrequenz der Bandpassfilter (80,90) in Abhängigkeit des Wertes der Phasendifferenz steuert.

Dabei wird die Durchlassfrequenz der Bandpassfilter (80,90) vorzugsweise solange nachjustiert, bis sie mit der Frequenz  $f_+$  übereinstimmt, bei welcher die im Phasenkomparator (100) ermittelte Phasendifferenz  $\phi(f_+)$  verschwindet.

5

Die Frequenz  $f_+$ , welche der Durchtrittsfrequenz entspricht, wird an eine Recheneinheit (120) übermittelt.

Die Vorrichtung verfügt ebenfalls über einen Sensor (70), der  
10 die Betriebstemperatur der Batterie (40) erfasst und an die Recheneinheit (120) sendet.

Der Sensor (60) zur Erfassung der Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Wechselstromes enthält ebenfalls ein  
15 Mittel zur Erfassung der Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms, deren Wert an die Recheneinheit (120) übergeben wird.

In der Recheneinheit (120) sind die Zuordnungen zwischen den  
20 Durchtrittsfrequenzen und dem Ladezustand der Batterie (40) für verschiedene Batterietypen, für verschiedene Betriebstemperaturen und in Abhängigkeit weiterer Betriebsbedingungen der Batterie (40) in Form von Funktionen oder Tabellen gespeichert.

25

Die weiteren Betriebsbedingungen umfassen die Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms und Angaben dazu, ob die Batterie (40) entladen oder aufgeladen wird.

30 Die Recheneinheit (120) ist dabei vorzugsweise in der Lage, aus der Stromstärke zu ermitteln, ob die Batterie (40) entladen oder aufgeladen wird.

Die Funktionen und Tabellen zur Zuordnung werden in gesonderten Messungen ermittelt und in Form von Rechen- oder Zuordnungsvorschriften in die Recheneinheit (120) implementiert.

- 5 Die Messungen zur Ermittlung der Zuordnungsvorschriften können beispielsweise während mehrerer Betriebszyklen anhand aus dem Stande der Technik bekannter Verfahren durchgeführt werden.
- 10 Anhand dieser Vorschriften und der ihr übermittelten Informationen über die Durchtrittsfrequenz, die Temperatur und die weiteren Betriebsparameter der Batterie (40) bestimmt die Recheneinheit (120) den Ladezustand der Batterie (40).
- 15 Der Ladezustand wird vorzugsweise von der Recheneinheit (120) ausgegeben und kann an eine Anzeigevorrichtung (130) und/oder an ein System zur Überwachung der Batterieparameter (140) übermittelt werden.
- 20 Die in der Figur 5 dargestellte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann besonders vorteilhaft eingesetzt werden, falls die in dem Stromnetz vorhandenen Lasten (10) und Stromquellen (20) Wechselstromsignale mit ausreichenden Amplituden im relevanten Frequenzbereich liefern.
- 25 In typischen Stromnetzen in welche die Vorrichtung integriert werden kann, werden Widerstände dem Stromnetz mit einer bekannten Frequenz zugeschaltet und von diesem getrennt.
- 30 Die Schaltung dieser Widerstände erfolgt oftmals durch ein Steuergerät, das die Schaltfrequenz regelt und gegebenenfalls darüber hinaus die Stromstärke misst.

Daher ist es in einer Abwandlung der Ausführungsform der Vorrichtung gemäß Figur 5 auch möglich, das durch die vorhandenen Steuergeräte aufgezeichnete Stromstärkesignal direkt zu nutzen und es an den Phasenkomparator (100) zu übermitteln.

5

Diese Ausgestaltung ist in Figur 6 dargestellt.

Das Stromsignal enthält typischerweise eine Überlagerung von harmonischen Wechselstromsignalen verschiedener Frequenz, so  
10 dass es durch ein regelbares Bandpassfilter (90) gefiltert werden muss, dass wiederum durch die Kontrolleinheit (110) gesteuert wird.

Figur 7 zeigt ein Blockdiagramm einer Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie (40) mit Phasen-  
15 Komparator (100) und regelbarer Wechselstromquelle (30).

Diese Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann vorteilhaft zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie  
20 (40) verwendet werden, die nicht durch Störsignale angeregt wird.

Der Einsatz einer Vorrichtung gemäß dieser Ausführungsform ist vorgesehen, falls die in dem Stromnetz vorhandenen Lasten  
25 und Stromquellen keine Signale mit ausreichenden Amplituden im relevanten Frequenzbereich liefern.

Die in Figur 7 dargestellte Ausgestaltung unterscheidet sich von der in der Figur 5 dargestellten Ausführungsform zunächst  
30 dadurch, dass sie kein Bandpassfilter (90) für das von dem Sensor (60) erfasste Stromstärkesignal aufweist.

Das von dem Sensor (50) erfasste Signal der Wechselspannung wird jedoch, wie im Zusammenhang mit der Figur 5 erläutert, über das Bandpassfilter (80) an den Phasenkomparator (100) übermittelt.

5

Die Batterie ist in dieser Ausführungsform mit einer zusätzlichen regelbaren Stromquelle (30) verbunden, die einen die Batterie (40) anregenden Wechselstrom bekannter Frequenz und Phase generiert.

10

Die Frequenz und die Phase des durch die Batterie (40) fließenden Wechselstroms können daher direkt von der Stromquelle (30) an den Phasenkomparator (100) gesendet werden.

15 Eine zusätzliche Erfassung ist nicht erforderlich. Sie kann jedoch vorgesehen sein.

Das Spannungssignal der über der Batterie abfallenden Wechselspannung wird wiederum von einem entsprechenden Sensor

20 (50) erfasst und in dem Bandpassfilter (80) bearbeitet.

Die durch den Phasenkomparator (100) ermittelte Phasendifferenz zwischen dem Strom- und dem Spannungssignal wird wiederum an die Kontrolleinheit (110) übermittelt.

25

Diese steuert die Frequenz des von der regelbaren Stromquelle (30) gelieferten Wechselstroms und die mittlere Durchlassfrequenz des Bandpassfilters (80) in Abhängigkeit des Wertes der Phasendifferenz.

30

Dabei wird die Durchlassfrequenz des Bandpassfilters (80) vorzugsweise solange nachjustiert, bis sie mit der Frequenz

$f_{\pm}$  übereinstimmt, bei welcher die ermittelte Phasendifferenz  $\phi(f_{\pm})$  verschwindet.

Das Bandpassfilter (80) wird dabei insbesondere so gesteuert,  
5 dass die mittlere Durchlassfrequenz mit der Frequenz übereinstimmt, die an der Stromquelle (30) eingestellt ist.

Wenn die Durchtrittsfrequenz anhand der verschwindenden Phasendifferenz ermittelt wurde, bestimmt die Recheneinheit  
10 (120) aus der ihr übergebenen Frequenz  $f_{\pm}$  den Ladezustand der Batterie (40) so wie im Zusammenhang der Figur 5 dargestellt.

Wie erläutert ist es ebenfalls möglich, die Durchtrittsfrequenz aus der Frequenzabhängigkeit des Imaginärteils der Impedanz zu bestimmen.  
15

Eine Vorrichtung ohne regelbare Stromquelle, der diese ebenfalls bevorzugte Methode zugrunde liegt, ist in Figur 8 in Form eines Blockdiagramms dargestellt.  
20

Die Vorrichtung ist mit einer Batterie (40) verbunden, welche von Störsignalen angeregt wird, die in dem von der Batterie (40) versorgten Stromnetz vorhanden sind. Diese Störsignale sind Wechselstromsignale, welche von vorhandenen Lasten (10)  
25 oder Stromquellen (20) verursacht werden.

Diese Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird also vorzugsweise zur Ladezustandsbestimmung eingesetzt, falls die in dem Stromnetz vorhandenen Lasten (10) und Stromquellen (20) Wechselstromsignale mit ausreichenden Amplituden  
30 im relevanten Frequenzbereich liefern.



Die Amplituden, Frequenzen und Phasen dieser Störsignale können dabei in vielen Fällen an den Lasten (10) oder Stromquellen (20) selber ermittelt werden, wie im Zusammenhang der Figur 6 erläutert wurde.

5

So können Kontrolleinheiten der Lasten (10) und Stromquellen (20) so ausgelegt sein, dass sie Stromsignale an die Vorrichtung übermitteln.

- 10 Die Vorrichtung beinhaltet einen Sensor (50) zum Erfassen des Wechselspannungssignals der über der Batterie (40) abfallenden Wechselspannung.

Das Spannungssignal wird in einem Tiefpassfilter (150) bear-  
15 beitet, wobei dieses nur von den Anteilen des Signals passiert werden kann, die eine Frequenz im relevanten Frequenzbereich aufweisen.

Der Anteil des Spannungssignals der das Tiefpassfilter passiert hat, wird an ein Mittel (160) zur Fourier-Transformation übermittelt, dem auch die Informationen über die  
20 Amplitude, die Frequenz und die Phasenlage der Stromstärke des von den Lasten (10) oder Quellen (20) verursachten Wechselstromsignals übermittelt werden.

- 25 Dem Mittel (160) zur Durchführung der Fourier-Transformation stehen damit alle Information für die bestimmungsgemäße Transformation der Signale zu Verfügung.

Das Mittel (160) zur Fourier-Transformation bestimmt die Im-  
30 pedanz und führt eine Fourier-Transformation der Impedanz durch oder ermittelt die Transformierte der Impedanz aus den transformierten Strom- und Spannungssignalen.

Vorzugsweise führt das Mittel zur Fourier-Transformation eine schnelle Fourier-Transformation durch.

Nach der Durchführung der Transformation wird ein Signal, das  
5 Informationen über die Fourier-Transformierte der Impedanz enthält, an eine Auswerteeinheit (170) übermittelt, welche die Frequenz  $f_+$  bestimmt, bei welcher der Imaginärteil der Impedanz verschwindet.

10 Die Frequenz  $f_+$  mit  $-Z''(f_+)=0$  ist die Durchtrittsfrequenz der Batterie (40).

Falls der Imaginärteil der Impedanz bei keiner der in dem Spannungssignal vorhandenen Frequenzen verschwindet, kann  
15 vorgesehen sein,  $f_+$  mit Hilfe von zwei Frequenzwerten zu interpolieren.

Die beiden Frequenzwerte werden vorzugsweise so gewählt, dass der Imaginärteil der Impedanz für die eine Frequenz sehr wenig kleiner als Null und der Imaginärteil für die andere Frequenz sehr wenig größer als Null ist und die beiden zugehörigen Werte des Imaginärteils der Impedanz werden Gerade verbunden. Die Nullstelle dieser Geraden entspricht dann der Durchtrittsfrequenz  $f_+$ .

25

Die Durchtrittsfrequenz, sowie die Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms und die Betriebstemperatur werden der Recheneinheit (120) zur Verfügung gestellt.

30 Die Vorrichtung verfügt hierfür über Sensoren (60,70), welche die Stromstärke des durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms und die Betriebstemperatur der Batterie (40) er-

fassen.

Die Recheneinheit (120) bestimmt den Ladezustand der Batterie (40) nun wiederum so, wie im Zusammenhang der Figur 5 dargestellt.

Die in der Figur 9 im Blockdiagramm gezeigte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird vorzugsweise eingesetzt, falls die Batterie (40) nicht in ein Stromnetz integriert ist oder falls die im dem Stromnetz vorhandenen Lasten und Stromquellen keine Signale mit ausreichenden Amplituden im relevanten Frequenzbereich liefern.

Sie unterscheidet sich von der in Figur 8 dargestellten Ausführungsform dadurch, dass die Batterie (40) mit einer regelbaren Stromquelle (30) verbunden ist, die von der Auswerteeinheit (170) gesteuert wird.

Die Frequenz des von der Stromquelle gelieferten Stromes wird von der Auswerteeinheit (170) solange verändert, bis die Frequenz gefunden ist, bei welcher der Imaginärteil der Impedanz der Batterie (40) verschwindet.

Dabei werden Frequenz und Phase des von der Quelle (30) gelieferten Wechselstroms von der Auswerteeinheit (110) kontrolliert und die Informationen über Frequenz, Phase und Amplitude der Spannung und der Stromstärke werden an das Mittel (160) zur Durchführung der Fourier-Transformation übermittelt, bzw. teilweise von diesem ermittelt.

30

Von diesen Unterschieden abgesehen, verfügt die Vorrichtung in Figur 9 über die gleichen Komponenten wie die Vorrichtung in Figur 8 und arbeitet in der gleichen Weise.

Zusätzlich zu den bisher dargestellten Ausführungsformen können ebenfalls Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung vorgesehen sein, die Mittel zur Erfassung und Bestimmung von weiteren aus dem Impedanzspektrum ermittelbaren Parametern der Batterie beinhalten.

Damit kann die Bestimmung des Ladezustandes der Batterie anhand des erfindungsgemäßen Verfahrens durch die Bestimmung des Ladezustandes anhand weiterer Methoden ergänzt die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Ladezustandsbestimmung weiter verbessert werden.

Insbesondere ist es vorteilhaft, das im Bereich der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Amplituden der über der Batterie abfallenden Wechselspannung und der Stromstärke des durch die Batterie fließenden Gleichstroms für die Durchtrittsfrequenz  $f_z$  erfasst werden.

Aus dem Verhältnis dieser Amplituden kann der Parameter  $R_z$  berechnet werden und für eine zusätzliche Bestimmung des Ladezustandes verwendet werden. Dies kann in der Kontrolleinheit (110) oder in der Auswerteeinheit (170) vorgenommen werden.

Darüber hinaus erlaubt der Wert von  $R_z$  Rückschlüsse auf verschiedene in der Batterie ablaufende Alterungsprozesse.

Die Durchtrittsfrequenz  $f_z$  hängt ebenfalls in geringem Maße vom Alterungszustand der Batterie ab.

Um eine besonders präzise Bestimmung des Ladezustandes der Batterie vornehmen zu können, kann es daher vorgesehen sein, den Alterungszustand der Batterie in der Zuordnung zwischen der Durchtrittsfrequenz und dem Ladezustand zu berücksichtigen.

gen.

Ebenso ist es möglich den Alterungszustand der Batterie zu ermitteln. .

**Bezugszeichenliste**

$Z'$	Realteil der komplexwertigen Impedanz
$Z''$	Imaginärteil der komplexwertigen Impedanz
$f_{\pm}$	Durchtrittsfrequenz der Batterie
$R_{\pm}$	Realteil des Wertes der Impedanz für den der Imaginärteil Null ist.
$f$	Frequenz des durch die Batterie fließenden Wechselstroms
SOC	Ladezustand der Batterie
$Z$	Impedanz
$\phi$	Argument der Impedanz
10	Last
20	Stromquelle
30	Regelbare Stromquelle
40	Batterie
50	Sensor zur Erfassung der über der Batterie abfallenden Spannung
60	Sensor zur Erfassung der Stromstärke des durch die Batterie fließenden Stroms
70	Sensor zur Erfassung der Betriebstemperatur der Batterie
80	Bandpassfilter
90	Bandpassfilter
100	Phasenkomparator
110	Kontrolleinheit
120	Recheneinheit
130	Anzeigevorrichtung
140	System zur Batterieüberwachung
150	Tiefpassfilter
160	Mittel zur Fourier-Transformation
170	Auswerteeinheit

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur Bestimmung eines Ladezustandes einer Batterie,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) für eine Impedanz ( $Z$ ) der durch ein Wechselstromsignal angeregten Batterie (40) ermittelt wird und die Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) dem Ladezustand (SOC) der Batterie (40) zugeordnet wird, wobei die Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) eine Frequenz ( $f$ ) des Wechselstromsignals ist, bei welcher ein Imaginärteil ( $Z''$ ) der Impedanz ( $Z$ ) der Batterie (40) verschwindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Batterie (40) durch Störsignale, die von Lasten (10) in einem die Batterie (40) enthaltenden Stromnetz verursacht werden und/oder durch eine in dem Stromnetz enthaltene Wechselstromquelle (20) angeregt wird.
3. Verfahren nach einem oder beiden der Ansprüche 1 und 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine über die Batterie (40) abfallende Wechselspannung gemessen wird
4. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Stromstärke eines durch die Batterie (40) fließenden Wechselstroms gemessen wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,

dass eine Phasendifferenz zwischen einer Phase einer Wechselspannung und einer Phase einer Stromstärke eines Wechselstroms ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Frequenz ( $f_{\pm}$ ) des Wechselstroms ermittelt wird,  
bei der die Phasendifferenz zwischen der Phase der Wechselspannung und der Phase der Stromstärke des Wechselstroms verschwindet.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die komplexwertige Impedanz ( $Z$ ) der Batterie (40) ermittelt wird.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Frequenz ( $f_{\pm}$ ) des Wechselstroms ermittelt wird,  
bei welcher ein Imaginärteil ( $Z''$ ) der komplexwertigen Impedanz ( $Z$ ) verschwindet.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass eine Frequenz ( $f$ ) des die Batterie (40) anregenden Wechselstroms variiert wird.
10. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,



d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Betriebstemperatur der Batterie (40) bei der Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) berücksichtigt wird.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass eine Stromstärke eines durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms bei der Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) berücksichtigt wird.
12. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein Alterungszustand der Batterie (40) bei der Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand SOC berücksichtigt wird.
13. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass ein Alterungszustand der Batterie (40) bestimmt wird.
14. Vorrichtung zur Bestimmung des Ladezustandes einer Batterie,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass sie ein Mittel zur Bestimmung einer Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) für eine Impedanz (Z) der durch ein Wechselstromsignal angeregten Batterie (40) und eine Recheneinheit (120) zur Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) der Batterie (40) aufweist, wobei

die Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) eine Frequenz ( $f$ ) des Wechselstromsignals ist, bei welcher ein Imaginärteil ( $Z''$ ) der Impedanz ( $Z$ ) der Batterie (40) verschwindet.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass sie über eine regelbare Wechselstromquelle (30) verfügt.
16. Vorrichtung nach einem oder beiden der Ansprüche 14 und 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) einen Sensor (50) zur Erfassung eines Wechselspannungssignals einer über der Batterie (40) abfallenden Wechselspannung enthält.
17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) einen Sensor (50) zur Erfassung einer Stromstärke eines durch die Batterie (40) fließenden Wechselstroms enthält.
18. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 17,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) mindestens ein regelbares Frequenzfilter (80, 90, 150) zur Filterung der erfassten Strom- und Spannungssignale enthält.

19. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) einen Phasenkomparator (100) enthält, der eine Phasendifferenz zwischen den gefilterten Strom- und Spannungssignalen ermittelt.
20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 19,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) eine Kontrolleinheit (110) enthält, die den Wert der Phasendifferenz überprüft und eine Durchlassfrequenz der Frequenzfilter (80, 90) und/oder eine Frequenz der Wechselstromquelle (30) verändert, bis die Phasendifferenz Null ist.
21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 20,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) ein Mittel (160) zu einer Fourier-Transformation der erfassten Stromstärke- und Spannungssignale aufweist.
22. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 21,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Mittel zur Bestimmung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) eine Auswerteeinheit (170) zur Auswertung der transformierten Signale und zur Ermittlung einer Frequenz aufweist, bei der ein Imaginärteil ( $Z''$ ) einer Impedanz ( $Z$ )

der Batterie (40) verschwindet.

23. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 22,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass sie einen Sensor (70) zur Erfassung einer Betriebstemperatur der Batterie (40) aufweist.

24. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 23,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass sie einen Sensor (60) zur Erfassung der Stromstärke eines durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms aufweist.

25. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 24,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Recheneinheit (120) Rechenvorschriften zur Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) einer Batterie (40) für mehrere Betriebstemperaturen der Batterie (40) enthält.

26. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 25,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass die Recheneinheit (120) Rechenvorschriften zur Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) einer Batterie (40) für mehrere Stromstärken des durch die Batterie (40) fließenden Gleichstroms enthält.

27. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 26,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass die Recheneinheit (120) Rechenvorschriften zur Zuordnung der Durchtrittsfrequenz ( $f_{\pm}$ ) zu dem Ladezustand (SOC) einer Batterie für mehrere Alterungszustände der Batterie (40) enthält.

28. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 27,

d a d u r c h   g e k e n n z e i c h n e t ,  
dass sie eine Anzeigevorrichtung (130) zur Anzeige des Ladezustandes (SOC) der Batterie aufweist.

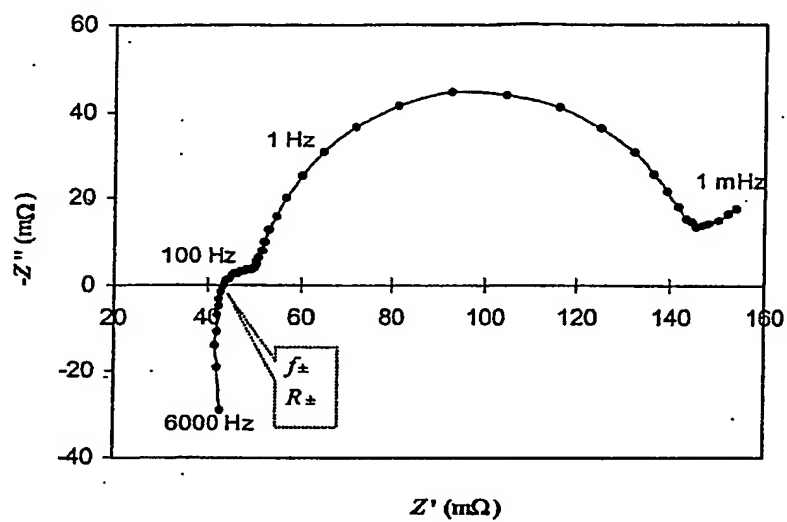


Fig. 1

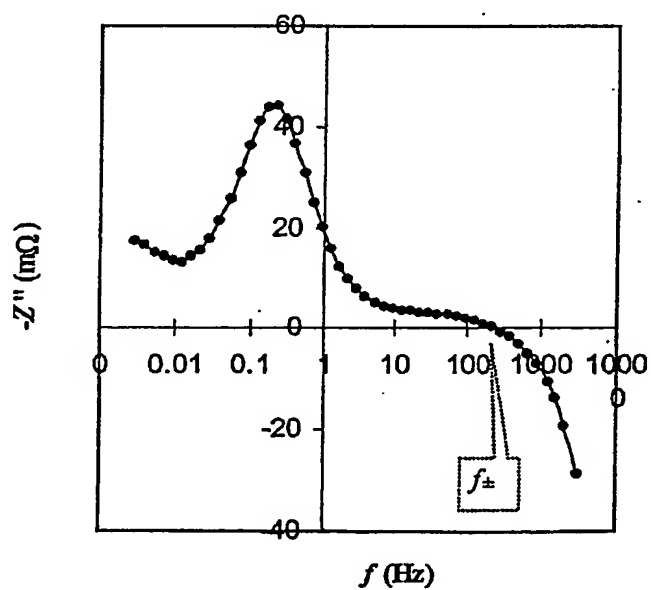


Fig. 2

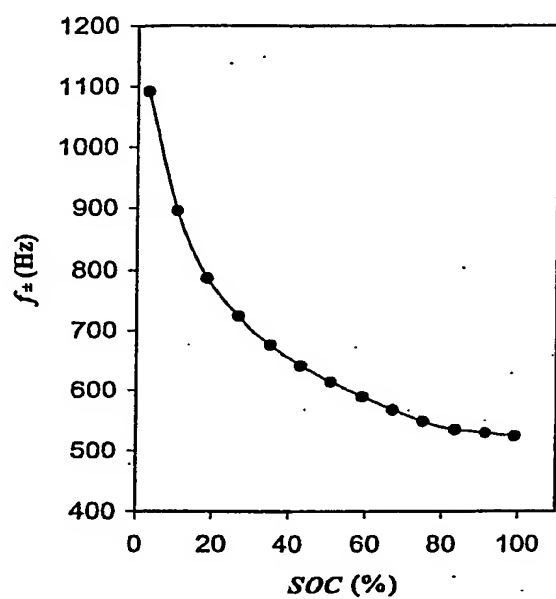


Fig. 3

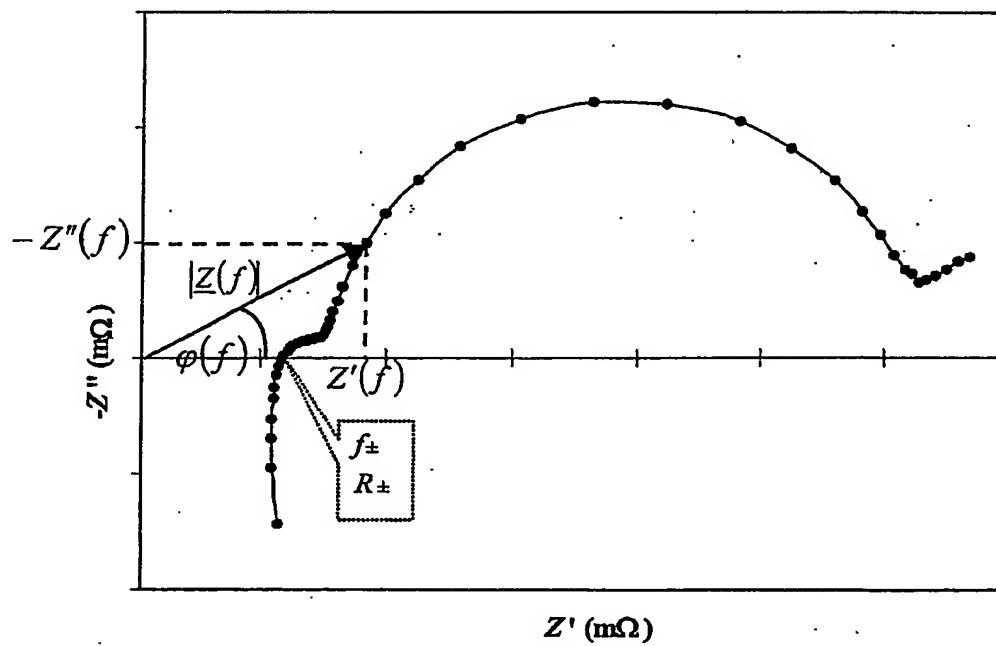


Fig. 4

